適合臺灣栽培之能源作物的研發方向

楊金興、林俊義、陳甘澍、賴瑞聲、劉新裕、賴永昌

行政院農業委員會農業試驗所

前 言

自從工業革命後，人類大量使用煤炭、天然瓦斯及石油等，造成空氣污染，形成「溫室效應」，使全球氣候變遷，天然災害不斷，影響環境生態致巨，威脅人類生存。有鑑於此，聯合國制訂『京都議定書』於 2005 年 2 月 16 日正式生效，限制全球溫室氣體排放量(尤其是 CO_2)，第一階段 2008 年到 2012 年之間，受管制氣體的總排放量平均值，要比 1990 年減少 5.2%，已成為國際間重大環保課題。

臺灣溫室氣體排放量達全球百分之一，是世界第二十二位。為配合京都議定書精神及因應未來的國際趨勢，我國於今年(2005)6 月 20 日舉行全國能源會議，在具體結論中，CO_2 減量目標為 2010 年要減少 2,300 萬公噸，2015 年減少 7,100 萬公噸，2020 年減少 12,100 萬公噸。為達成目標， 2010 年將推廣再生能源佔總能源比率 3~5%，其中酒精汽油 2010 年要推廣 100~300 萬公秉，2015 年推廣 200~600 萬公秉，2020 年 300~900 萬公秉；生質柴油 2010 年目標 10 萬公秉，2020 年 15 萬公秉。

臺灣能源資源缺乏，進口能源所占 98.0%；進口能源以石油占 51.1% 最高，總消費量達四千五百萬公秉。由於石油危機及地球蘊藏量有限，造成油價節節高升，所以世界各國無不竭盡全力，設法提高能源的使用效率，或積極開發可以取代石油的替代能源，我國也不例外。

能源作物利用太陽能及吸收空氣中 CO_2 能進行光合作用，生產之生物質(biomass)貯存化學能，在常溫常壓下即能進行，是一種極具希望與有效率的能源生產方法，生物質可經過加工成燃料或直接燃燒生成熱能或電能利用，而且 CO_2 循環利用，不會增加大氣中 CO_2 濃度。由於兼具能源與環保雙重貢獻，是國際公認優良的再生能源或清潔能源，世界各國均積極開發利用。

由於耕地面積有限，糧食安全與能源利用具競爭性，德國因石油價格高，生產之油菜有 3/4 用於能源；一般而言，以休耕農地或開發休閒地生產生質能源，日本農業生產情況與國內類似，也因進口廉價農產品，造成約 40 萬公頃休耕農地，估計如每公頃生產乾物量為 15 噸，每年可生產能源約 120 PJ，再加上開發 120 萬公頃栽培短期之第二期作物，可達每年 120

PJ 的能源量，約可提供 1%的總能源消耗量，如果種植適當的能源作物，提高作物生產量，則可達到 1. 44 EJ/年，約占 7% (Yamamoto et al., 2005)，今(2006)年日本也立法通過積極開發利用生質能源，主要以甘蔗、甜菜、米麥 (庫存米) 等生產生質乙醇。

國內每年約有二十幾萬公頃農田休耕或種植綠肥作物，如能充分利用種植適當之能源作物，將對農業、環保及能源具有重大意義。

能源作物發展現況

能源作物生產之生物質 (biomass) 可經燃燒、裂解、發酵及氣化等技術，做成燃料或發電利用，稱為生質能源，大致有直接燃燒、生質乙醇 (bioethanol)、生質柴油 (biodisel)、生質沼氣(biogas)、生質甲醇 (biomethanol)、生物質生成液體燃料 (biomass to liquid) 等。

由利用料源成份不同可分為固體燃料 (林木、作物莖葉等) 、醣類作物、澱粉類作物、油料作物及纖維素等，目前以生產生質乙醇和生質柴油用於運輸燃料 (與汽油或柴油參配使用) 為最大宗。

生質乙醇以糖質（如甘蔗、甜高粱、甜菜等）及澱粉類作物 (馬鈴薯、木薯、甘藷、玉米及穀類等）經發酵生產為主，據研究評估，將來纖維素生產生質乙醇較具發展性。

生質柴油以高油份含量植物 (如大豆、向日葵、花生、油菜籽、棉花籽、胡麻、亞麻、蓖麻、橄欖、油棕、椰子、油桐等等) 之植物油經轉脂化反應 (trans-esterification) 的程序製成的燃油，可作為燃料油，可替代柴油利用，其副產物 (甘油) 具有各種商業用途 (如化粧品、醫藥品、牙膏以及止咳糖漿等等) 。

巴西是利用生質乙醇最有名的國家為，主要利用蔗糖來製造；1973 年開始推動生質乙醇燃料計畫，2004 年生產量達 1,510 萬公秉，成本只有約 6 元/公升。 2003 年推出汽油、酒精雙燃料車，2004 年銷售總量達 25 萬輛以上；近年來因製糖甘蔗原料短缺，正加速進行利用甜高粱生產酒精的研究。

其次為美國於 1978 年頒佈能源發展法案，為推動使用酒精來代替汽油，訂定許多優惠稅法。主要作物為玉米及甜高梁等植物提煉。 2003 年美國國會立法要求在未來 10 年中，每年要在汽油中增加 50 億加侖的玉米乙醇。2004 年生產 1,338 萬公秉，主要以玉米為主，成本只有約 10 元；巴西及美國兩國產量約佔世界 75% 以上。

歐盟於 1993 年大力推動乙醇汽油計劃，要求成員國在汽油燃料中添

加 5%的乙醇，訂定發展目標分別為 2005 年 370 萬噸，2010 年 970 萬噸，2015 年 1,244 萬噸 (表一) 。英國、德國、法國、義大利等主要歐盟國家都制訂了相應的替代能源計劃，以甜高梁及穀類作物作能源作物生產。

生質柴油目前全世界年產量已超過 250 萬噸以上，其中歐洲占 80%以上，德國是生質柴油發展最成功的國家，訂定發展目標 (表二) 為 2005 年占柴油總量之 2.00%約共 70 萬噸，而產能達 150 萬噸，種植作物面積有 107 萬公頃；2006 年產量已達 200 萬公噸；2010 年目標為 5.75%，須 206 萬噸生質柴油，產能為 200 萬噸，種植面積須 143 萬公頃；2015 年目標為 8%，須 275 萬噸，產能為 370 萬噸，栽培面積須 264 萬公噸。歐盟生質能源發展目標 (表一) 為 2005 年 2.0%，2010 年 5.75%，2015 年 8.0%，其中生質柴油需要量分別為 2005 年 369 萬噸，2010 年 1,100 萬噸及 2015 年 1,670 萬噸。

由於德國大量生產生質柴油及獎勵措施，主要以冬油菜為主， 2004 年油菜平均產量約為 3.8 t/ha ，含油率約 40~50%；2006 年可達 5.0t/ha，此由於雜交種 F1 的種植面積增加，種植面積從 1996/7 年的 3.3%，到 2003/4 年達 49.1% (表三) 。所生產之油菜油約有 3/4 作為能源用。

國內 2005 年才開始進行能源作物之可行性評估，2006 年示範推廣 2,000 公頃，2007 年預定目標為 6,000 公頃，2008 年達 20,000 萬公頃 (表四) 。為鼓勵農民利用休耕田種植能源作物，每公頃可獲補助達 6 萬元。目前評估以生質乙醇為發展重點。

表一、歐盟生質能源發展目標

項　目	2005 年	2010 年	2015 年
占柴油及汽油總比率(%)	2.00	5.75	8.00
生質柴油(萬噸)	369	1100	1670
生質酒精(萬噸)	374	970	1244

(資料來源: Bockey, D. 2006.)

表二、德國生質柴油發展目標

項　目	2005 年	2010 年	2015 年
占總柴油比率(%)	2.00	5.75%	8.00
需要量(萬噸)	70	206	275
產能(萬噸)	150	200	370

(資料來源: Bockey, D. 2006.)

表三、德國油菜栽培面積及雜交種(F1)栽培面積比較

年　度	總面積 (千公頃)	雜交種(F1)面積 (千公頃)	雜交種(F1)所佔比率 (%)
1996/7	858	28	3.3
1997/8	959	50	5.2
1998/9	1150	92	8.0
1999/00	1046	160	15.3
2000/01	1116	215	19.3
2001/02	1276	430	33.7
2002/03	1218	570	46.8
2003/04	1262	620	49.1

(資料來源: Specht, M. 2004.)

表四、臺灣預定推廣能源作物面積及生質柴油產量

項　目	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
推廣面積(公頃)	90	2,000	8,000	20,000
生質柴油產量(公秉)	-	3,100	6,100	45,000

能源作物之特性

一般良好之能源作物有下列特點：一、生長快、生產力高、生育期間短之作物；二、適應性大、容易栽培之作物，可密植栽培，粗放管理，且提高栽培密度後，各株的生長率、生產量仍然很高；三、能源生產量高的作物，高生產能源/投入能源之比例；四、生產成本低，搬運容易之作物；五、機械化操作容易等。

由作物光合作用的生理特性比較 (表五) 可供參考，理想的能源作物特性為：一、高生物質產量，例如 C_4 型生物質量可達 55 噸，C_3 型可達 35 噸之作物，或高油份，高澱粉及糖含量之作物；二、高乾物重比率；三、高養份及水份利用效率；四、高產出/投入比；五、高能源密度(MJ/kg)；六、可永續生產；七、抗病性佳；八、適應當地環境及氣候(EL Bassam，1998)。

在實際田間栽培作物時尚需須考慮一、低水分及肥料需要量；二、低除草劑用量；三、低農藥用量；四、高淨能獲得；五、低侵蝕風險；六、適合加工；七、永續生產；八、對環境、氣候有利用等 (EL Bassam，1998) 。

一般而言，C_4 型植物具有較高產潛力約為 C_3 型植物 2 倍，在溫帶地區可生產 55 噸／公頃／年，而 C_3 型植物只有 33 噸／公頃／年，在高溫多濕地區產量更高，如在加拿大估計 C_4 型植物可達 64.8 噸／公頃，乾物重 C_3 型只有 33.6 噸／公頃（Bassham，1980）。

作物之生物質產量主要由遺傳控制，地區性氣候與土壤性質也影響生物質能量，透過人為與自然方式育種選拔，可篩選獲得適合地區性之 C_3 或 C_4 型植物。

表五、不同光合作用類型植物的生理特性比較

光合作用特性	類型				
	C_3	C_3	C_4	C_4	CAM
最高光強度 (cal $cm^{-1}min^{-1}$)	0.2-0.6	0.3-0.8	1.0-1.4	1.0-1.4	0.6-1.4
最大 CO_2 淨交換速率 (mg $dm^{-2}h^{-1}$)	20-30	40-50	70-100	70-100	20-50
最適溫度	15-20°C	25-30°C	30-35°C	20-30°C	25-35°C
有效溫度	5-30°C	10-35°C	15-45°C	10-35°C	10-45°C
最大生長速率 (g $m^{-2}day^{-1}$)	20-30g	30-40g	30-60g	40-60g	20-30g
水分利用率 (g/g)	400-800	300-700	150-300	150-350	50-200
作物種類	馬鈴薯，燕麥，油菜，小麥，甜菜，大麥，裸麥，白楊，亞麻，橄欖。	花生，水稻，大豆，蓖麻，菸草，香蕉，胡麻，柳樹，向日葵，甜薯，竹子，棉花，可可椰子，樹薯。	高粱，玉米，甘庶。	小米，玉米，甜高粱，纖維高粱。	瓊麻，鳳梨。

(資料來源: Bl Bassam, 1998)

能源作物研究概況

種植能源作物除獲得最高之生質量外，最重要需考慮能源產出/投入比要高，或獲得之淨能最高，且適合加工生產，以及對環境之效益 (例如減少 CO_2 排放量高) 。

一、篩選高生物質產量作物：

一般 C_4 型作物有較高之生物質產量，尤其在高溫多濕地區產量更高，乾物重可達 64.8 噸／公頃， C_3 型只有 33.6 噸／公頃（Bassham，1980）。在德國以大麻，白楊樹，冬裸麥，柳樹等 10 種植物及作物品種(籽)，在不同氮肥 (0，75，150kg/ha) 下，為期 6 年篩選適合作為能源的植物，結果以大麻，白楊樹及冬裸麥的乾物質產量最高，在高肥區可達 8~12 噸，白楊樹在無肥區產量最高可達約 7 噸，估計 3 種植物可獲得能源約 120 GJ $ha^{-1}yr^{-1}$ 以上，其中以白楊樹燃燒後空氣污染最少，可作為直接燃燒利用 (Scholz and Ellerbrock, 2002) 。

二、篩選低成本、高能源產出/投入比之作物：

由於地區各環境氣候及生產條件不同，種植不同之能源作物投入之成本、能源，必須審慎評估。Bastianoni, S. and N. Marchettini (1996) 研究分析不同地區能源作物生產生質乙醇結果 (表六) ，相同作物不同地區其能源產出/投入比有相當大之差異，在巴西為 4.35 倍，在美國為 3.38 及 1.23 倍，在美國及巴西種植甘蔗可獲得之淨能為正數，而義大利利用葡萄生產生質乙醇其淨能為負數。在義大利比較甜高粱，纖維用高粱，高肥料小麥及低肥料小麥的全株利用能源產出／投入比率，以甜高粱較高可達 23 倍，小麥約有 12 倍 (Monti and Verturi, 2003) 。Gustavsson et al., (1995) 分析不同之料源生產成本以木削、作物殘體、楊柳樹等較低，約低於油菜約 3~4 倍。希臘以向日葵生產生質柴油所產出能量為 47.3 GJ/ha，投入的能源為 10.49 GJ/ha，其比率為 4.5:1 (Kallivroussis et al., 2002)。

表六、不同地區栽培能源作物生產生質乙醇產出及投入能源比較

項目	甘蔗 (巴西)	甘蔗 （佛羅里達）	甘蔗 （路易斯安娜）	葡萄 (義大利)
產出能量 (J ha^{-1} yr^{-1})	5.92×10^{10}	1.55×10^{11}	1.35×10^{11}	2.37×10^{10}
投入能源 (J ha^{-1} yr^{-1})	1.36×10^{10}	4.58×10^{10}	1.10×10^{11}	7.71×10^{10}
產出／投入	4.35	3.38	1.23	0.31
淨能(J ha^{-1} yr^{-1})	4.56×10^{10}	1.09×10^{11}	2.5×10^{10}	-5.34×10^{10}
每噸所需土地 (ha/ton)	0.92	0.38	1.67	

(資料來源: Bastianoni, S. and N. Marchettini, 1996)

三、提高作物之淨能量：

篩選適當作物及栽培技術，可增加作物淨能量。

在義大利比較甜高梁，纖維用高梁，高肥料小麥及低肥料小麥的全株利用，能源投入從整地，播種，肥料，農藥到收穫乾燥所需之能量，產出為收穫後生產酒精及生質燃氣所得之能量。淨能以 C_4 型作物甜高梁較高約 300~360 GJ ha^{-1}，小麥約 200 GJ ha^{-1}，生產酒精以甜高梁稍微適合，小麥則不適合，如果兩種作物非全株利用，則均不符合效益 (Monti and Verturi, 2003) 。估計酒精生產所需能源約 18.33 MJ/kg (Parisi, 1988) ，甜高梁消耗能量為 16 MJ/kg (Bonari et al., 1996) ，小麥穀粒消耗能量為 19.8 MJ/kg，麥稈消耗能量為 18.5 MJ/kg (Irarsson and Nilsson, 1988)。小麥酒精轉換率約為 28.6%，酒精產出能量為 26.8 GJ/t (Parisi, 1988)。甜高梁酒精轉換率約 4.7%，顯然偏低，渣為 29.4% (Venturi et al., 1993; Parisi, 1988)。

Bona et 等人 (1999）利用不同投入能源比較大豆，向日葵及油菜三種作物的產出／投入比，結果以向日葵投入 10-20 GJ/ha 的能源，可得到最高產出／投入比，其它二種作物亦以低投入方式較為有利，顯示以省工栽培方式可獲得較高之淨能量。

四、提高作物產量及耐逆境：

利用育種、栽培技術改進及生物技術改良作物(例如耐逆境，遺傳獲得等)，可增加產量及減少生產成本，且能源效率增加。能源利用效率 (energy efficiency) 為作物生產每噸乾物重所須之能源。 Swanton 等人 (1996) 分析比較 1975 年及 1991 年玉米及大豆生產之能源效率，在 1975 年玉米每

生產 1 噸乾重需要 87.95 公升柴油油當量，到 1991 年只要 44.16 公升，能源效率增加 49.8%，此因單位面積產量增加 20% (由 5.77 噸增加到 6.93 噸/公頃)。而大豆能源使用量由 75.64 公升減少到 38.67 公升，能源效率增加到 48.7%，因產量增加 (由 2.32 增加到 2.44 噸) 。1975 年玉米每公頃能源使用量從 19.4 GJ 降到 1991 年的 11.7 GJ 。 1975 年大豆每公頃能源使用量從 6.7 GJ 降到 1991 年的 3.6 GJ，因使用之肥料耗能減少 42.4%，減少除草劑使用量 55.6 % 之結果。但不整地栽培作物，會因減少除草劑施用量而減產或因增加管理操作而增加能源。Monti and Verturi (2003) 在義大利分析能源利用效率，以小麥較高在 1-3.3 之間，甜高粱只有 0.96-0.85 之間。

希臘以向日葵生產生質柴油產出能量為 47.3 GJ/ha，投入的能源為 10.49GJ/ha，其比率為 4.5:1，其投入能量以 N 肥的 42.4%最高，其次為油料 33.9%最高，再次為運輸 13.3% (Kallivroussis et al., 2002) 。美國玉米生產以肥料所占比率最高 (71~74%)，大豆以肥料 33.3%及除草劑之 22.2 %所需能量最多 (Swanton et al., 1996) 。

五、篩選可大量減少 CO_2 排放量之作物

作物因光合作用效率不同，生長速率不同，所累積之生質能量不同，一般 C_4 型作物較為優勢，但須視環境條件而定，燃燒時 CO_2 排放量也會不同，所生產不同之生質能其 CO_2 排放量也會有差異。

Bastianoni, S. and N. Marchettini (1996) 比較巴西及美國甘蔗生產生質乙醇做為燃料之 CO_2 排放量，以佛羅里達減少之 CO_2 排放量最高 (表七) ，其次為巴西之甘蔗，最差為義大利之葡萄，無法減少 CO_2 之排放量。Gustavsson 等人 (1995) 分析不同之生質能源所減少之 CO_2 排放量排序為甲醇＞乙醇＞生質柴油＞生質燃氣。

表七、不同地區栽培能源作物生產生質乙醇之 CO_2 排放量

項目	甘蔗 (巴西)	甘蔗 （佛羅里達）	甘蔗 （路易斯安娜）	葡萄 (義大利)
CO_2 排放量 ($g\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	1.89×10^6	4.86×10^6	9.76×10^6	8.05×10^6
相當於石化燃油 CO_2 排放量 ($g\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	4.44×10^6	1.16×10^7	1.01×10^7	1.78×10^6
CO_2 排放量/減少 CO_2 排放量	0.43	0.42	0.96	4.53

(資料來源: Bastianoni, S. and N. Marchettini, 1996)

國內具發展潛力之能源作物

臺灣栽培之作物種類眾多，歷史悠久，適合臺灣栽培之能源作物，可由過去栽培之經驗及研究結果，供作為能源作物栽培利用之參考，澱粉或糖類作物有甘蔗、甘藷、玉米、高粱及樹薯等，油料作物有落花生、大豆、油菜、向日葵及胡麻等 (表八及表九) 。

表八、臺灣主要澱粉或糖類作物之最高面積、平均產量及成分含量

作物	臺灣最高栽培面積(ha)	最高平均產量(kg/ha)	澱粉或糖含量(%)
甘蔗	100,000 (1960年)	91,934 (1992年)	13-15
甘藷	246,176 (1964年)	22,201 (1991年)	22-25
玉米	82,858 (1989年)	5,219 (2002年)	60-73
高粱	27,255 (1988年)	5,046 (1996年)	72-75
樹薯	26,782 (1974年)	16,291 (1976年)	25-40

資料來源:臺灣農業年報、雜糧作物各論及臺糖網頁

表九、臺灣主要油料作物之最高面積、平均產量及油分含量

作物	臺灣最高栽培面積(ha)	臺灣平均產量(kg/ha)	世界平均產量(kg/ha)	油份含量(%)
落花生	103,963 (1958年)	3,097 (2005年)	1,336 (2003年)	45-54
大豆	59,665 (1960年)	2,061 (1991年)	1,720 (1989年)	20-25
油菜	20,877 (1964年)	1,906 (1970年)	1,406 (1989年)	34-42
向日葵	214 (1983年)	1,906 (1983年)	1,422 (1989年)	50-65
胡麻	8,845 (1961年)	676 (2003年)	357 (1989年)	48-57

資料來源:臺灣農業年報及雜糧作物各論(雜糧基金會出版)

一、適合生產生質酒精之作物：

（一）甘藷：

為匍匐地面生長習性的一年生或多年生草本植物。栽培種的染色體數目，2n=90，起源予以墨西哥為中心的熱帶美洲，臺灣是在 17 世紀初期，由福建傳入栽培，迄今已有 200 多年的栽培歷史。

臺灣位於熱帶和亞熱帶之間，環境條件適合甘藷生長。甘藷是利用塊根和莖蔓進行無性繁殖，繁殖力強。本省氣候溫暖，甘藷種植時期無嚴格限制，任何季節種植，都有相當的收量。甘藷又對風土選擇不嚴，栽培容易，適應性廣，風險少，安定性高，且富有營養價值。收量之豐，也遠非其他作物所可比擬之特點，所以，台灣甘藷的栽培遍及全省各地。

農試所嘉義分所保存約 1600 種甘藷種原，可選育最適合生成酒精之品種。事實上，嘉義分所已育成台農 10 號、台農 31 號等高澱粉品種，若欲推廣甘藷作為生產酒精之能源作物，即可提供高澱粉甘藷品種供農民種植。甘藷因栽培容易，台灣各地皆適合種植，在民國 60 年左右栽培面積達 20 萬公頃以上，若以甘藷作為能源作物將容易被農民接受，配合嘉義分所已研發完成之甘藷採收機械，將適合進行大面積栽培，降低甘藷生產成本，但種植機械尚待加強，全年可供苗品種有臺農 57 號及 66 號，前者澱粉含量高，適合中南部種植，後者澱粉含量較低，適合北部種植，生產成本約 3 元/公斤（不含農民本身工資），每公頃栽培 3 萬苗，平均產量 30 公噸鮮重/公頃。

（二）甘蔗：

為禾本科多年生高大草本，C4 型植物，耐旱性強，原產於熱帶，為熱帶與亞熱帶栽培最普遍之糖料作物。臺灣利用甘蔗製糖的歷史悠久，自 1900 年代以來，配合新式製糖業的興起，甘蔗之栽培曾盛極一時。臺灣（臺糖公司）年產 90 萬公噸甘蔗產量，集中於 12 月中旬~3 月中旬，可維持 3 個工廠各 100 開工天，年產約 9 萬公噸蔗糖，副產 95%酒精 1.7 萬公秉，並且政策性鼓勵離蔗，自今年（94）二月份起開放砂糖自由進口。甘蔗、甘藷及甜高梁等糖質及澱粉類能源作物在臺灣容易栽培，尤其夏作期間受到颱風及豪雨的影響相對較低，甘蔗平均產量約為 78 公噸/公頃（生育期約 16 個月），約可生產 5000～6000 公升生質酒精。

（三）甜高粱：

約在百年前甜高粱被引進美國，初期專供製糖用，多種植於路州、德州、密州及加州等地。利用甜高粱製糖，由於純度不夠，澱粉含量高，

致容易轉化，結晶比較困難，製糖價值不高；但用作酒精原料，則無上述缺點。據美國 Price 與 Stokes 氏在美國各地栽培甜高粱之結果可知，在加州地區每英畝可生產製糖用原料 21.7 公噸，莖中 brix 為 22.1，含糖率 15.4% ，可生產蔗糖 4.8 公噸；德州之甜高梁，最高含糖率可達 15.7%，幾與甘蔗相同，雖其產量稍低，但每公頃糖產量仍達 4.7 公噸。又據 Landen 氏 (1970) 報告，在美國路州試植時，含糖率高達 16.85%，每公頃可產糖 3.40~3.81 公噸，如以生長期僅四個月論，則每公頃月產糖量達到 1.0~1.2 公噸，較甘蔗之 0.6 公噸約高一倍。臺灣糖業研究所於 1969 年自美國引進甜高粱，在五月播種者，每公頃產原料莖 27 公噸，種子 2.5 公噸，莖中含糖率 12.11%，每公頃糖產量 3.26 公噸。據夏及劉之研究，甜高粱在臺灣南部氣候土壤環境下，頗為適宜，惟其產量與品質隨季節之不同而異。

一般而言，春播以三月種植者最佳，平均公頃製糖莖稈產量達 35.28 公噸；夏播以四~五月為最佳，平均莖稈產量達 35.36 公噸；秋播則以七~八月為適期，平均莖稈產量 19.91 公噸，甜高粱品種間產量及含糖率之差異很大。由於甜高粱耐旱性強，生長快，對土壤的適應性廣，可利用機械大量栽培，可以進行宿根栽培，從播種至收穫之生長期間約為四個月，僅為甘蔗之四分之一而已；可利用製糖機械榨取糖汁，進而生產酒精，榨汁後蔗渣可作燃料；糖研所曾進行甜高粱榨汁之發酵試驗，生產之酒精濃度達百分之十，故以甜高粱糖汁製造酒精在技術上應屬可行。

以土地利用及能源之投入量較少之觀點來看，能粗放栽培之甜高粱為頗具發展潛力之生質能源作物之一。有學者預估，甜高粱理論酒精產量為每年每公頃 3,010 公升。其優點為：1.栽培容易，可用種子繁殖；2.需水量低，水分利用效率高；3.生長期短 （4 個月以內） ，單位時間產量高，適合現有栽培體系，適用機械播種、管理及採收；4.可宿根栽培。但其缺點為：1.播種後初期需雜草管理；2.產物體積較龐大，儲存及產製過程需較大空間；3.在農村景觀方面較不具美化特色。

二、適合於國內生產生質柴油之高油份含量作物：

（一）大豆：

大豆在植物分類學上是屬於大豆屬（*Glycine*），豆科（*Leguminosae*），蝶形花亞科（*Papilionoideae*），菜豆族（*Phaseoleae*）。大豆、向日葵、落花生、及油菜同列為世界四大油料作物。大豆原為溫帶作物，對溫度及日照敏感，但經常年馴化及品種改良，以可從溫帶北部到熱帶均可栽培。

大豆對水分的消耗量通常以田間蒸發散量（evapotranspiration）表示，全生育期約需 450~825 公釐，生育期愈短，消耗量亦愈少。對土質的選擇不嚴，除了過於粘重的土壤外，大部份的土質均可生長，但仍以土壤肥沃，有機質含量高的壤土最為適合。

臺灣大豆品種南部一年可栽培三作，北部亦可種植二作，其品種對光期鈍感，生育適溫 20~30℃。民國 33 年栽培面積約 2 萬公頃，產量約 1 萬公噸，49 年最高峰達約 6 萬公頃，因廉價大豆進口，85 年僅有 5 千公頃，目前則只有零星栽培，主要推廣用為綠肥作物。

臺灣在各改良場所育種改良下，已有三十幾個大豆品種推廣，生育日數約 90~120 天，播種期春作在 1 月~2 月間，夏作 6 月~7 月間，秋裡作 9 月~10 間，公頃產量可達 1500~3200 公斤，油份含量 17%~24%之間，為重要食用油來源。世界各國大豆平均公頃產量約 1000~3500 公斤，已開發國家平均約 2200 公斤，低油份含量品種約 13~14%，一般品種約 18~24%，高油份品種可達 26~27%。農試所作物種庫保存約六千多個大豆種原，油份含量在 9.7~34.2%，值得加以篩選利用。

大豆子實成分含量以蛋白質最高約 40%，油脂約 21%，碳水化合物約 34%，其不同部位含量略有差異 (表十) 。脂肪酸含量以不飽和脂肪酸之亞油酸約 50%最高，其次為油酸約 23%，不同地區之含油量及脂肪酸成分略有差異 (表十一) 。

表十、大豆子實各部位之化學成分

部位	占子實重量百分比	蛋白質	脂肪 (油)	碳水化合物	灰分
		--------------------------	%	--------------------------	
整粒子實	100	40	21	34	4.9
子葉	90	43	23	29	5.0
種皮	8	8	1	86	4.3
下胚軸	2	41	11	43	4.4

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

表十一、臺灣各地區大豆含油量及脂肪酸組成分

成份	臺北	臺中	臺南	屏東	花蓮	臺東	平均
	--------------------------------------			%	--		
含油量	21.5	24.0	22.8	23.3	19.8	21.5	22.2
棕櫚酸	14.3	15.0	14.9	13.2	13.5	14.8	14.3
硬脂酸	4.0	3.6	4.5	4.1	3.9	3.5	3.9
油酸	23.0	24.2	25.9	24.3	16.8	25.7	23.4
亞油酸	49.8	50.0	48.2	51.3	57.1	49.0	50.9
亞麻酸	8.8	7.0	6.7	7.2	8.5	6.9	7.5

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

（二）向日葵：

俗稱葵花、葵花籽、日頭花、太陽花，英名 Sunflower、法名 Tournesol、西班牙名 Girasol、德名 Sonnenblume 、日名ひまわり，為菊科 (Compositae) 一生草本植物，原產美國西部。可分為油用、食用及觀賞用三型。

向日葵栽培的適應性，較其他主要經濟作物為廣。它可生長於廣大緯度範圍內，少雨量及短生長季節地區，尤以大部分溫帶地區最適於生長。一般來說，從北緯 49 度至南緯 41 度，年雨量在 350 公釐以上，凡可種植玉米的地區均可栽培。油脂產量比大豆高出二倍以上。在臺灣全年皆可生長，中南部較適合於秋裡作（9～10 月）栽培，6～7 月為颱風多雨季節避開為宜，生育初期高溫適中，生育後期低溫乾燥，不但產量高，種子品質好，且含油率高，油的組成分亦佳。其次為 2~3 月（春作）播種者，植株發育良好，但後期（4~6 月）高溫多溼，種子產品品質差，含油率亦低。栽培地區則以雲林以南為最適。臺南區農業改良於 71 年育成雜交向日葵台南 1 號。最近 2~3 年有較大面積之栽培，主要為秋裡作景觀、切花及綠肥用。臺南 1 號每公頃籽實產量在 1850 公斤左右，種仁含油率為 58%，每公頃平均油產量可達 600 公斤。殼與仁所佔的比率為 28.5 及 71.5%。1976 年從國外引進 36 個品種在臺灣春、秋作觀察試驗分析結果，平均含油率春作 46.2%，秋作 55.7%，範圍春作 40.3~52.7%，秋作 51.1~58.8%。

臺灣栽培向日葵常因大風及大雨造成倒伏，影響產量及品質，分析其產量構成要素如花序數、每花序種子數及百粒重影響種子大小及含油率 (表十二) ，花序數多大粒種子比率及油份含量較少，倒伏情形較嚴重。脂肪酸含量以不飽和脂肪酸之亞油酸 65.9% 及油酸 19.0% 最高，不同國家及種間其成分含量亦有不同 (表十三及十四)。

表十二、向日葵產量構成要素對種子大小、含油率及倒伏之影響

產量構成要素			大粒種子[1]	種子油分	倒伏
花序數／公頃	每花序種子數	百粒重(公克)	(%)	(%)	等級[2]
37,000	831	7.3	52	42.6	1.5
49,000	727	6.7	44	43.2	1.8
62,000	632	6.2	33	43.2	2.1
74,000	548	6.0	31	43.4	2.4
86,000	501	5.8	26	43.8	2.5
LSD 5%	---	0.2	8	0.6	0.2

註 1.食用品種在圓孔篩 0.8 公分以上。2. 1 直立，9 倒下。

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

表十三、向日葵油脂肪酸組成分

地區	飽和脂肪酸			不飽和脂肪酸			
	棕櫚酸 C16：0	硬脂酸 C18：0	計	油酸 C18：1	亞油酸 C18：2	亞麻酸 C18：3	計
蘇聯	5.1~6.2	3.7~5.1	8.8~11.3	28.0~36.4	54.0~60.6	微量到 1	82.0~98.0
美國	5.8~6.2	4.0~5.6	9.8~11.8	14.8~21.7	66.7~74.5	~	81.5~96.2
台灣	11.0	4.2	15.2	19.0	65.9	微量	84.9

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

表十四、向日葵種間粗脂肪及脂肪酸含量

種　別	收集數	粗脂肪 (%)	脂肪酸			
			棕櫚酸 16 : 0	硬脂酸 18 : 1	油酸 18 : 2	亞油酸 18 : 3
			------------------------%-------------------------------			
H. annuus	30	14~29	2.6~6.1	0.7~2.6	12.3~24.0	69.5~82.6
H. petiolaris	18	23~40	3.0~3.7	0.3~2.4	11.8~27.5	67.7~84.3
H. maximiliani	18	20~36	3.5~5.5	0.7~2.6	6.9~14.3	80.5~87.4
H. rigidus	12	16~31	2.5~4.2	0.4~2.5	9.9~18.0	74.5~84.9

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

（三）油菜：

油菜是屬於十字花科蕓苔屬植物，油菜是世界上重要的油料作物之一，由於其在食用、飼料用、工業用和其他農業輪作利用上具有重要地位。臺灣油菜栽培面積在日據時期約有 1,000 公頃，其中以彰化、臺中、苗栗等縣栽培最多，而嘉義、南投、雲林亦有小面積栽培，主要皆利用水田冬季裡作培栽，主要栽培品種為屬於小油菜（*Brassica campestris* L.）的在來種。民國 48 年推出屬於大油菜（ *Brassica napus* L.）的新品種後，臺灣油菜栽培面積逐年增加，至民國 53 年達 20,000 公頃，年生產量 27,000 餘公噸，為歷年來台灣油菜生產最高峰。後因菜仔油中含有高量芥酸，對人體及動物有不良影響，菜仔油不再為消費者所接受，油價大跌，農民失去種植興趣，政府亦為國民健康，暫不推廣油菜栽培，而改自國外進口大量的植物油（如大豆沙拉油 ）。二次大戰結束以來世界油菜發展非常迅速，油菜栽培面積從 1950 年的 270 萬公頃， 發展至 2003 年已超過 2,700 萬公頃，已成為一種世界性的重要油料作物。臺灣種植時期：南部- 6 月上旬；中部 - 6 月上旬；北部 - 6 月中旬。生育日數：120-160 天。種子收穫適期：約開花後 2 個月，植株基部 1/3 高度的果莢黃熟時。種子收穫量：2,000-2,500 公斤/公頃。

（四）落花生：

為原產於南美之豆科作物。由大陸傳入臺灣，開始栽培之確切年代已不可考，唯一般推測落花生引入栽培之年代可能也是在 16 世紀後期，迄今約有 400 餘年之歷史。由於落花生之營養價值高、用途廣，在本省栽培面積也廣，已成為植省最重要之豆類作物之一。

落花生種子含粗蛋白質 22～30%及油分 44～56%，脂肪酸含量以不飽和脂肪酸之油酸 47.4%及亞油酸 37.5%最高，不同加工處理其成份含量略有不同(表十五)，適合食用、油用及加工，用途甚廣，為世界性之重要經濟作物。國內最高栽培面積曾達 10 萬公頃，近年種植面積仍能長久維持在二～三萬公頃之間之最重要雜糧作物之一。彰化、雲林兩縣為落花生主要產區，約佔臺灣栽培總面積 80%以上，莢果產量達 3000 公斤/公頃。

落花生之適應性大，對土壤及氣候條件之要求不嚴，故分佈極廣，自北緯 45 度至南緯 45 度之地區均有落花生之栽培。對土壤條件之要求並不嚴格，可說是一種耐瘠作物，任何農地皆可栽培，尤其是新墾地。但栽培落花生最理想之土壤為排水良好之壤質砂土（loamy sand）、砂質壤土（sandy loam）或砂質粘壤土。

好高溫之熱帶作物，生長期懼霜，在熱帶地區經年均可生長。生長期約 4~6 月，在溫帶地方為夏季作物，早熟種 105~135 日，中熟種 140~170 日，晚熟種 180~210 日成熟。溫度與種子含油量有密切之關係，在熱帶及高溫地區生產之種子含油量高。全臺大部分之地區一年皆可栽培兩作落花生。在南部地區由於冬季溫度較高，因此尚可栽植一作秋裏作，即一年可三作。

表十五、落花生油之脂肪酸組成

脂肪酸	無焙烘者	輕度焙烘者	中度焙烘者	重度焙烘者
棕櫚酸 (palmitic)	8.4	8.2	8.5	8.6
硬脂酸 (stearic)	2.0	1.9	2.2	2.2
油　酸 (oleic)	47.4	48.3	48.2	47.9
亞油酸 (linoleic)	37.5	37.1	36.2	36.4
花生酸 (arachidic)	1.2	1.4	1.5	1.4
二十烯酸 (eicosenoic)	1.1	1.0	1.0	1.1
山俞酸 (behenic)	1.6	1.5	1.7	1.7
二十四烯酸 (nervonic)	0.7	0.7	0.8	0.8

(資料來源:雜糧作物各論，1994，雜糧基金會出版)

結　語

臺灣利用休耕農地種植能源作物生產酒精及生質柴油，作為替代能源可對整體生態環境及農業提供許多貢獻，例如 10 萬公頃休耕地約可減少 33 萬噸 CO_2 排放量以及下列的好處：

一、密閉型的碳循環(Carbon cycle)，永續運用，不會增加CO_2含量，確保生態。

二、無毒性，可再生 (renewable) 而且生化可分解 (biodegradable) 性良好，而避免污染，健康環保安全性良好。

三、可維持耕地環境，永續利用。

四、解決休耕農地問題。

五、增加農民就業機會及促進社會發展。

六、水旱田輪流栽培作物可有效利用地利。

七、可節水，解決部分稻田缺水問題：

由於發展能源剛起步，生產成本偏高，須有相關研究及政策法令訂定，才能普及並降低生產成本，其能源作物研究重點如下：

一、篩選適合國內環境氣候之作物及品種，提高產量及能量產出/投入比。

二、栽培技術改進，以減少能源投入量及降低生產成本。

三、開發新興速生性之能源作物：如 C4 型作物或植物。

四、選育高產、高糖分、高油份，適合加工之作物品種。

五、選育具耐逆境、抗病蟲害、耐殺草劑性強之新品種。

六、提高作物能源及水分利用效率方法，以提高之淨能量。

參考文獻

王俠。1964。甘藷自交與雜交親和性及其他因子影響結實率之研究。中華農學會報新 48:1-2。

朱文深。1983。利用甜高梁原料生產酒精燃料之研究。臺大碩士論文。

李良、廖嘉信。1994。台灣甘藷品種改良之成就與展望。根莖作物生產改進及加工利用研討會專刊。台灣農業試驗所特刊 45:11-28。

吳耿東、李宏台。2001。生質能源-化腐朽為能源。科學發展。383: 20~27。

涂茂園。1982。生甘藷經常溫糖化生產酒精之研究。臺大碩士論文。

謝順景。1982。能源作物。科學農業 30(1-2)：74-85。

雜糧作物各論，1994，蔡文福主編，雜糧基金會出版，台北。

Aanrade, F., and Ferreiro, M. 1996. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. Field Crop Res. 48:155-165.

Bastianoni, S. and N. Marchettini. 1996. Ethanol production from biomass: a analysis of process efficiency and sustainability. Biomass and Bioenergy 11:411-418.

Bhat, M. G., B. C. English, A. F. Turhollow, and T. P. Nyangito. 1994. Energy in Synthetic Fertilizers and Pesticides: Revisited. Miscellaneous Publications, Department of Agricultural Economics and Rural Sociology, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee.

Bona, S., G. Mosca, and T. Vamerali. 1999. Oil crops for biodiesel production in Italy. Renewable Energy 16:1053-1056.

Bonari, E., M. Mazzoncini, C. Petrini, R. Bazzocchi, and A. Masoni. 1996. Effect of irrigation and nitrogen supply on biomass production from sorghum in northern central Italy. Agr. Med. 126:217-226.

Bockey, D. 2006. Potentials for raw materials for the production of biodiesel.

WWW.ufop.de

Butler, B. J. and L. E. (1987). Effects of application methods on energy use. In: Energy in Plant Nutrition and Pest Control, eds B. A. Stout & M. S. Mudahar. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 257-266.

El Bassam, N. 1998. C_3 and C_4 plant species as energy source and their potential impact on environmental climate. Renewable Energy 15:205-210.

Cardone, M., M. Mazzoncini, S. Menini, V. Rocco, A. Senatore, M. Seggiani, and S. Vitolo. 2003 *Brassica carnata* as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evalutaion, fuel production by trans esterification and characterization. Biomass and Bioenergy 25:623-636.

Cohen, M. F., and Mazzola., M. 2004. A reason to be optimistic about biodiesel: seed meal as a valuable soil amendment. Trends in Biotechnology. 22:211-212.

Gillard, C. L. 1993. A comparison of high input, low input and organic cash cropping systems. M. Sc. Thesis. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. 212 pp.

Green, M. B. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In: Energy in Plant Nutrition and Pest Control, eds. B. A. Stout& M. S. Mudahar. Elsevier, Amsterdam, pp. 165-177.

Gustavsson, L., P. Börjesson, B. Johansson, and P. Svenningsson. 1995. Reading CO2 emission by substituting biomass for fossil fuels. Energy 20(11) : 1097-1113.

Holčapek, M., P. Jandera, J. Fisclier, B. Prokeš. 1999. Analytical monitoring of the production of biodiesel by high-proformance liquid chromatography with various detection methods. Chromatography A 858:13-31.

Ivarsson, E. and C. Nilsson. 1988. Smelting temperature of straw ashes with and without additives. S.Z.C.B.S.C. 153:84.

Kallivroussis, L., A. Natsis, and G. Papadakis. 2002.The energy balance of sunflower production for biodiesel in Greece. Biosystems Engineering 81:347-354.

Gupta, K.K., and Khnna, K.R. 1982. Gene action and heterosis for oil yield and component characters in sunflower. Indian. J. Genet. Plant Breed.

42:265-271.

Gustavsson, Leif; Börjesson, Pål; Johansson, Bengt; Svenningsson, Per. 1995. Reducing CO2 emissions by substituting biomass for fossil fuels. Energy. Vol. 20(11): 1097-1113.

Helsel,Z R. 1979. Dry matter yield, nutritive composition, and combustible energy value of biomass grown in single and double cropping systems. Energy in agriculture collection. Michigan State University.

Hovelius, K., and Hansson, P-A. 1999. Energy and energy analysis of rape seed oil methyl ester (RME) production under Swedish conditions. Biomas and Bioenergy 17:279-290.

Liu, S.Y. and Liang, C. L. 1983 . Studies on the efficiency of alcohol production in sweet potato, cassava, and potato. J. agric. Res. China 32:111-121.

Lobb, D. 1989. A study of the impact of no-till on tractor fuel cost vs. crop returns. Agricultural Energy Centre, Guelph, Ontario, Canada. 19 pp.

Monti, A. and G. Vernturi. 2003.Comparison of the energy performance of fibre sorghum, sweet sorghum and wheat monocultures in northern Italy. Europ. J. Agronomy 19:35-43.

Mudahar, M. S. and T. P. Hignett. 1987. Energy requirements. Technology, and resources in the fertilizer sector. In: Energy in Plant Nutrition and Pest Control, eds B. A. Stout and M. S. Mudahar. Elsevier, Amsterdam, pp. 25-61.

Mc Clure, T.A. and D.A. Scantlland. 1979. Can sweet sorghum supply food, feed, fiber and fuel? The Sugar Journal: 37-38.

Ouellette-Babin, D. 1982. Energy input and output of grain corn and soybean production. Factsheet, Agdex 100/708, Ontario Ministry of Agriculture and Food, Toronto, Canada.

Parisi, F. 1988. Technical aspects and managements of the ethanol production from biomass crops. In: Agricultural National Association(ANA). Bologha, Italy. pp:11-55.

Piero, V. and V. Gianpietro. 2003. Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. Biomass & Bioengery 25: 235-255.

Richardson, J. and Verwijst,. T. 2005. Sustainable bioenergy production systems: environmental, operational and social implications. Biomass and Bioenergy. 28:95-96.

Ralph, E.H. Sims. 2001. Bioenergy- a renewable carbon sink. Renewable Energy 22: 31-37.

Roos, Ay R. L. Graham, B. Hektor, and C. Rakos. 1999. Critical tactors to bioenergy implementation. Biomass and Bioenergy 17:113-126.

Scholz, V. and R. Ellerbrock. 2002.The growth productivity, and environmental impact of the cultivation of energy crops on sandy soil in Germany. Biomass and Bioenergy 23:81-92.

Shay, E.G. 1993. Diesel fuel from oils: status and opportunities. Biomass Bioenerg 4:227-242.

Southwell, P. H. and T. M. Rothwell. 1977. Analysis of output / input energy ratios of food production in Ontario. Report to Eng. Research Service, Agriculture Canada, Ottawa, ON. P.419

Stout, B. A. 1979. Energy for world agriculture. FAO, Rome.

Swanton, C. J. and S. D. Murphy. 1996. Weed science beyond the weeds: the role of integrated weed management (IWM) in agroecosystem health. Weed Science. 44: 437-445.

Swanton, C. J., S. D. Murplny, D. J. Hume, and D. R. Clements. 1996. Recent improvement in the energy efficiency of agriculture: Case Studies from Ontario, Canada. Agric. Systems 52:399-418.

Venendaal, R., Jorgensen, U and Foster,C. A. 1997 European energy crop: A synthesis. Biomas and Bioenergy 13:147-185.

Wilson, J. A. 1982. Tuberization in sweet potato (*Ipomoea batatas*,L.) *In Sweet potato.*editad by R. L. Villareal,and T. D. Griggs. AVRDC publishers, Tainan.Taiwan. pp:79-97.

Wonder, B. and D. Simpson .1982. Economics of large-scale and on-farm production of fuel from crops in Australia. Energy in Agriculture, 1(1987/1982):155-170.

Yamamoto, H., Y. Matsumura, and S. Sawayama. 2005. Evaluation of supply potential of energy Crops in Japan Considering Cases of improvement of crop production. Biomass and Bioenergy 29:355-359.